

H14/B03 プログラム変換による科学的ソフトウェア 作成法の研究(共同プロジェクト研究の理念と概要, 共同プロジェクト研究)

雑誌名	東北大学電気通信研究所研究活動報告
巻	11
ページ	172-174
発行年	2005-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/30527

課題番号：H14／B03

プログラム変換による科学的ソフトウェア作成法の研究

〔1〕組織

代表者：高野 明彦
 （国立情報学研究所）
 対応者：外山 芳人
 （東北大学電気通信研究所）
 分担者：大堀 淳
 （北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
 小川 瑞人
 （北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
 亀山 幸義
 （筑波大学システム情報工学研究科）
 胡 振江
 （東京大学情報理工学系研究科）
 長谷川 立
 （東京大学数理科学研究科）
 西村 進
 （京都大学理学研究科）
 細谷 晴夫
 （東京大学情報理工学系研究科）
 篠埜 功
 （北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
 中野 圭介
 （東京大学情報理工学系研究科）

研究費：校費0円，旅費51万2670円

〔2〕研究経過

科学的なソフトウェア作成法の確立には，正当性を保証したプログラム部品の蓄積と，部品を組み合わせて所望の機能と性能を備えるソフトウェアを構築する手法の開発が必須である。この観点から，多相型理論や論理学的基礎づけを持つ高信頼なプログラミング言語が提案され，データ構造の代数的性質を利用してプログラム部品を融合するプログラム変換法が研究されている。本研究会の目的は，応用上ますます重要となっているXMLを操作対象とするソフトウェアについて，プログラム変換やデータ変換を用いた科学的ソフトウェア作成法を探索することである。

過去2年間にわたる本研究における活動により，

高信頼プログラミング言語，プログラム検証，プログラム変換，データ変換等における要素技術に関する最新の研究動向（本研究メンバー自身の研究を中心とする）が明らかになった。これを踏まえて，今年度は，研究会における参加者の研究発表を通して，科学的ソフトウェア作成法構築のための基本要素，XMLを操作対象とするソフトウェア作成法のアーキテクチャを提案し，その実現のために必要となるプログラミング言語，プログラム検証技術，プログラム変換技術，データ変換技術等について検討し，まとめとなる活動を行った。

以下，具体的な研究活動状況の概要を記す。

第一回の研究会を7月29日に東北大学電気通信研究所で開催した。高野は，科学的ソフトウェア作成例として連想検索エンジンを用いた「新書マップ」と題するソフトウェアの作成・一般公開について報告した。XMLやXMLで表現される文書データに対するプログラミング言語からの取り組みとして，中野，細谷，胡が発表を行った。次に，科学的ソフトウェアの基礎となる書き換え系について，青戸，外山が発表し，さらに，論理的なプログラム作成法と意味論の観点から，亀山と長谷川の2件の発表があった。XMLデータを直接扱う言語からの観点と，書き換え系や論理など外側から見る観点の参加者による意見交換により，それぞれの技術の共通点が明確になった。

第二回の研究会を11月29～30日に東北大学電気通信研究所で開催した。まず，長谷川が，新しい計算モデルとして圏論に基づく書き換えモデルの提案を行った。次に，XMLを扱うプログラムにおいても重要なフュージョン（融合）変換手法について，中野，西村，篠埜が発表した。細谷，大堀，亀山は，プログラミング言語の立場から，それぞれ，単項2階論理に基づくXML処理，XML#コンパイラ的设计，CPS変換に基づくプログラム制御機構について発表を行った。これらをもととして締めくくりの討論を行った。

〔3〕成果

（3-1）研究成果

XMLに代表される木構造データは極めて柔軟

で強力な表現力を持つ一方、その効率良い処理については未知な部分が多い。本研究の3年間の成果により、プログラム言語の設計、解析、実装、論理、書き換えなど、種々の分野で比較的独立に研究されてきた成果がXMLをキーワードとして関係付けられることが解明された。以下に具体的な今年度の成果をあげる。

・XMLを扱うプログラム言語

プログラム合成理論に基づく構造化文書処理の効率化を目的として、(1) 木構造操作からストリーム処理器を自動導出することが可能なXML変換言語XTiSPを実装し、一般公開した。XTiSPでは、既存の言語における無駄な中間データ生成がなく、実行時間とメモリ消費の両面で効率的な処理ができる。(2) 属性文法での表現が単一データ構造からの入力であるという欠点を克服するため、複数のデータ構造を入力とするプログラムの合成法を提案した。(3) XMLを扱うプログラム言語に多相性を導入する提案を行った。従来のアドホック多相性と異なり、パラメトリック多相性を導入することにより、きわめて自然で扱いやすい言語となった。

・プログラム変換による効率的プログラム作成

累積変数およびスタックを含む関数型プログラムの融合変換を行うアルゴリズムを開発し、正しさを証明した。また、従来手法より多様な再帰パターンで定義される再帰関数のプログラム融合変換を可能とするための拡張を行い、書き換えシステムの帰納的定理自動証明システムの上で提案したプログラム変換法の有効性を明らかにした。さらに、変換パターンの正当性を保証する新しい手法を提案した。

また、高階書き換えシステムの帰納的定理自動証明システムを開発し、その上で、高階プログラム融合変換の実験を行い、提案したプログラム変換法の有効性を明らかにした。さらに、2階変換パターンに基づくプログラム変換手法の枠組みを与えるとともに、変換パターンの正当性を保証する新しい手法を提案した。また、プログラム変換に不可欠な高階プログラムの帰納的性質の自動証明手続きの提案、高階プログラムの停止性の解析、シーケント計算の体系での証明図の簡約と型付きラムダ計算のベータ簡約の間の関係に基づく新しい停止性証明法の提案等を行った。

・XML文書変換のためのプログラム言語

XML文書の双方向変換を記述するために従来使われている言語であるXSLTは双方向変換が記述できないという欠点がある。この欠点を克服

した新しい双方向変換言語を提案し、その応用例として構造化文書エディタを実装した。

・機械語コードの論理的意味付けについて

プログラム言語はコンパイラにより機械語に変換され実行される。上流のプログラム言語だけでなく、機械語のレベルに対しても、科学的ソフトウェア構築法を確立するため、構成的数学の証明論を基礎とする機械語コードの意味付けを行い、コードの書き換え意味論を、証明システムのカット除去定理で表現可能であること、さらにその結果から機械語コードに対しても、高水準言語同様の種々の望ましい性質が証明できることを示した。

・プログラム言語の論理的意味付けについて

関数型プログラミング言語を、より表現力豊かにするため、プログラムの流れを制御する機構が良く使われる。この機構について論理学の立場から検討し、プログラムの検証を行うのに必要十分な公理系を特定した。また、応用例として、証明からのプログラム抽出について検討した。

・ソフトウェアの形式的解析・検証について

現実のソフトウェアの構造を表すグラフは比較的単純である点に注目し、グラフの代数的構成法およびその完全な公理化を行った。また、NTTの開発する時刻認証（イベント順序証明）システムのセキュリティモデルの諸性質の形式的証明、グリッド計算におけるセキュリティモデルの提案、関数型プログラムの解析のプッシュダウンモデル検査による実装の検討を行った。

・順列を列挙するアルゴリズムの自動生成

ある性質を満たす集合の要素を、適当な順列で列挙する問題を解くアルゴリズムを自動生成する手法について考察した。

(3-2) 波及効果と発展性など

XMLは現代のソフトウェア産業にとって重要なテーマの1つであるが、アドホックなプログラム言語やソフトウェアが量産されている状況である。本研究では、科学の立場から既存の多様な分野で蓄積された技術・知見を集め、XMLをキーワードとして統合できることを確かめた。この成果は、XMLに限らず一般の木構造で表現されるデータ構造に対しても有効であるため、テキスト文書やプログラムなどの取り扱いを念頭に置き、データを中心とした科学的ソフトウェア構築に関して、国際的にリーダーシップをとれるグループが形成されたと考えられる。今後は、遅れているとされる日本のソフトウェア産業への波及が期待される。

[4] 成果資料

- (1) Y. Toyama, "Termination of S-expression rewriting systems: Lexicographic path ordering for higher-order terms", In Proceedings of the 15th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2004), Aachen, Germany, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3091, Springer-Verlag, pp.40-54, 2004.
- (2) T. Aoto, T. Yamada and Y. Toyama, "Inductive theorems for higher-order rewriting", In Proceedings of the 15th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2004), Aachen, Germany, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3091, Springer-Verlag, pp.269-284, 2004.
- (3) 千葉勇輝, 青戸等人, 外山芳人, 木準同型写像を用いた項パターンマッチング, 第49回プログラミング研究会(PRO-2004-1), 2004.
- (4) A. Ohori, "Register Allocation by Proof Transformation". Journal of Science of Computer Programming, 50(1-3):161 -- 187, 2004.
- (5) Kwanghoon Choi and Atsushi Ohori, "A Type Theory for Krivine-Style Evaluation and Compilation", Proceedings of Asian Symposium on Programming Languages and Systems, 213-228, 2004.
- (6) Mizuhito Ogawa, "Well-Quasi-Orders and Regular Omega-languages", Theoretical Computer Science, Vol.324, No.1, pp.55-60, 2004.
- (7) Mizuhito Ogawa, "Complete Axiomatization of an Algebraic Construction of Graphs", Proc. of the 7th International Symposium on Functional and Logic Programming (FLOPS 2004), LNCS 2998, pp.163-179, 2004.
- (8) Li Xin, Mizuhito Ogawa, "A Lightweight Mutual Authentication based on Proxy Certificate Trust List", コンピュータソフトウェア, Vol.22, No.2, pp.85-89, 2005.
- (9) Li Xin, Mizuhito Ogawa, "A Lightweight Mutual Authentication based on Proxy Certificate Trust List", Proceedings of the 5th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT 2004), LNCS 3320, pp.628-632, 2004.
- (10) Zhenjiang Hu, Shin-Cheng Mu, Masato Takeichi, "A Programmable Editor for Developing Structured Documents based on Bidirectional Transformations", ACM SIGPLAN Symposium on Partial Evaluation and Program Manipulation (PEPM'04), Verona, Italy, ACM Press. pp.178-189, 2004.
- (11) Yuki Yoshi. Kameyama, "Axioms for Delimited Continuations in the CPS Hierarchy", Proc. Computer Science Logic '04, Lecture Notes in Computer Science Vol. 3210, pp. 442-457, 2004.
- (12) 中島一, 亀山幸義, 「抽象化と精密化による実時間モデル検査の改善」, 情報処理学会: プログラミング, Vol. 45, No. SIG12, 2004.
- (13) Susumu Nishimura, "Fusion with Stacks and Accumulating Parameters", Proceedings of the 2004 ACM SIGPLAN Symposium on Partial Evaluation and Semantics-Based Program Manipulation, pp. 101-112, 2004.
- (14) 西村進, "On impredicative use of generic recursion operator, 第7回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ(PPL2005), 2005.
- (15) Susumu Nishimura, Keisuke Nakano, "XML stream transformer generation through program composition and dependency analysis", Science of Computer Programming, Volume 54, Issues 2-3, pp.257-290, 2005.
- (16) Haruo Hosoya, Alain Frisch, Giuseppe Castagna, "Parametric polymorphism for XML", Proc. Principles of Programming Languages 2005, pp. 50-62, 2005.
- (17) Keisuke Nakano, XMLストリーム処理器の自動導出が可能なXML変換言語の設計. コンピュータソフトウェア, Vol. 21, No. 3, pp.48-54, 2004.
- (18) Keisuke Nakano, "An Implementation Scheme for XML Transformation Languages through Derivation of Stream Processors", The Second ASIAN Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS'04), LNCS 3302, pp.74-90, 2004.